Tulips
University of Tsukuba Library

Canonical-basis time-dependent Hartree-Fock-Bogoliubov theory and linear-response calculation for light to heavy nuclei

著者	江幡 修一郎
内容記述	Thesis (Ph. D. in Science)--University of Tsukuba, (A), no. 5625, 2011.3.25 Includes bibliographical references
発行年	2011
URL	http://hdl.handle.net/2241/113131

【104】

氏　名（本籍）	江　幡　修一郎（富 山 県）
学 位 の 種 類	博　　士（理　　学）
学 位 記 番 号	博　甲　第　5625　号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	**Canonical-basis Time-Dependent Hartree-Fock-Bogoliubov Theory and Linear-Response Calculation for Light to Heavy Nuclei** （正準基底時間依存ハートリー・フォック・ボゴリューボフ理論と軽から重核の線形応答計算）

主　　査	筑波大学教授	理学博士	矢　花　一　浩
副　　査	筑波大学教授	理学博士	梅　村　雅　之
副　　査	筑波大学准教授	理学博士	小　沢　　顕
副　　査	筑波大学准教授（連携大学院）	博士（理学）	丸　山　敏　毅
副　　査	理化学研究所准主任研究員	博士（理学）	中　務　　孝

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、正準基底を用いた時間依存ハートリー・フォック・ボゴリューボフ（Cb-TDHFB）理論の定式化と、原子核の応答関数への応用を報告したものである。

原子核の励起状態やダイナミクスを記述する理論として、時間依存ハートリー・フォック・ボゴリューボフ（TDHFB）理論は極めて洗練された枠組みである。しかし、現実的なエネルギー汎関数を用いた TDHFB 計算は容易ではなく、同理論に基づく原子核の応答関数計算はごく限られた核種に対してしか行われていないのが現状である。一方ハートリー・フォック・プラス BCS 理論は、ハートリー・フォック・ボゴリューボブ理論に比して簡易に対相関を取り入れることができ、原子核構造の記述に古くから用いられてきた。しかし、原子核のダイナミクスに対して、BCS 理論に相当する対相関を取り入れた理論の枠組みは、これまで十分に調べられて来なかった。このような状況のなか、申請者は、BCS 理論に相当する精度で対相関の効果を取り入れた原子核のダイナミクスを記述する微視的な枠組みである Cb-TDHFB 理論の構築に成功した。申請者は論文の中で、その枠組みの説明と、原子核の応答関数に関する具体的な応用例を示している。

第 2 章では、時間依存平均場理論の一般的な定式化から出発し、正準基底表示を用いた Cb-TDHFB 理論の基礎方程式が導出される。そして、この方程式による計算に便利な対エネルギー汎関数の形が議論されている。さらに、Cb-TDHFB 理論の満たすゲージ不変性や様々な保存則、対称性に起因するゼロモード等が議論されている。

第 3 章では、Cb-TDHFB 理論に基づき、原子核の線形応答を計算するための具体的な手続きが論じられている。軌道関数は、3 次元デカルト座標の格子点での値で表され、応答関数の計算は、Cb-TDHFB 方程式を実時間であらわに解く方法が用いられる。時間発展を具体的に計算するアルゴリズムが論じられている。

第 4 章では、原子核の応答関数に対する計算結果が示されている。始めに本論文の計算で採用される簡単化された対エネルギーの有効性を検証するために、^{34}Mg 核のアイソスカラー四重極モードを対象に、より

正確な対エネルギー汎関数を用いたQRPA計算の結果と本論文で発展させたCb-TDHFB計算の結果を比較し、本論文で用いた対エネルギーが十分な精度で応答関数を記述することが示される。次に、本論文では自己無撞着に応答が計算されていることから、QRPA計算でしばしば無視されるスピン軌道力、クーロン力に起因する残留相互作用の重要性が論じられている。その後に、いくつかの球形核および変形核の応答関数の計算結果と測定結果との比較が示され、Cb-TDHFB理論に基づく計算が安定核および中性子過剰核の様々な多重極モードの応答を記述するのに有効であることが示されている。また、^{172}Yb核のアイソベクトル双極応答を例に、行列対角化の方法を用いたQRPA計算と本論文の方法で、応答関数の計算に必要とされる計算時間の比較が論じられている。本論文で開発された実時間計算法は、行列対角化の方法に比べ、はるかに少ない計算時間しか要しないことが示されている。最後にアイソベクトル双極モードの低エネルギー領域に現れるピグミー強度に関して、系統的な計算の結果が示されている。

第5章は、本論文のまとめと今後の展望が述べられている。

審査の結果の要旨

本論文において開発された正準基底時間依存ハートリー・フォック・ボゴリューボフ理論は、原子核の基底状態の記述に大きな成功を収めてきたBCS近似を原子核のダイナミクスに拡張するものであり、超流動性を考慮した新しい量子多体理論として大変興味深いものである。申請者はこの理論の定式化を行い、理論の解析的性質を明らかにするとともに、原子核の応答関数に対する実時間計算の計算コード作成と大規模な応答関数計算を遂行した。その結果、本論文で発展させた方法は、従来用いられてきたQRPA理論と比較してはるかに少ない計算の労力でほぼ同等な結果が得られることが明らかになった。以上の点から本論文の内容は、当該分野の研究に大きく寄与するものであり、申請者は量子多体系の解析的および数値的研究に極めて高い能力を有することが認められた。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。